

## KAJIAN TERHADAP HIDROGEL BERASASKAN SELULOSA BAKTERIA (BC) DAN KESAN PENGGABUNGANNYA DENGAN NANOPARTIKEL PERAK SEBAGAI AGEN ANTIBAKTERIA

MARYAM MOKHTAROM<sup>1</sup> and AZWAN MAT LAZIM<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

<sup>2</sup>Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

\*E-mail: azwanlazim@ukm.edu.my

Accepted 31 October 2018, Published online 31 December 2018

### ABSTRACT

This research investigated the ability of bacterial cellulose (BC) based hydrogel incorporated with silver nanoparticles as antibacterial agent. Free radical polymerization has been used to synthesize the BC hydrogel. The silver nanoparticles was integrated and reduced using sodium boron hydrate as the reducing agent. The swelling capability of the hydrogel at different pH was also examined. The FTIR results showed that acrylic acid (AA) was successfully grafted to the bacterial cellulose networks. Other analyses such as swelling tests, antibacterial, Differential Scanning Calorimetry (DSC), X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) were also carried out to the hydrogel sample. The antibacterial tests found that hydrogel incorporated with silver nanoparticles was able to inhibit the bacterial growth.

**Key words:** Hydrogel, bacterial cellulose (BC), silver, nanoparticles, antibacterial

### PENDAHULUAN

Hidrogel adalah rangkaian silang yang terbentuk daripada makromolekul polimer hidrofilik. Ia adalah stabil dan mampu mengembang di dalam cecair dan berkebolehan menyerap sejumlah besar air (Giri *et al.*, 2012). Berdasarkan kajian awal yang ditulis oleh Wichterle dan Limin pada tahun 1960, hidrogel telah digunakan untuk menggambarkan rangkaian tiga-dimensi polimer hidrofilik gam dan semula jadi, di mana rangkaian ini terbentuk secara kimia atau fizikal (Lee *et al.*, 2012). Rangkaian polimer hidrofilik ini boleh mengekalkan sekurang-kurangnya 20% air daripada berat keringnya. Jaringan polimer yang membina struktur hidrogel berfungsi untuk menyerap air disebabkan oleh kehadiran kumpulan hidrofilik seperti -OH, -CONH-, -CONH<sub>2</sub>-, dan -SO<sub>3</sub>H dalam polimer tersebut (Hamidi *et al.*, 2008). Oleh kerana terdapatnya kumpulan berfungsi ini yang sangat domain di dalam rangkaian sesuatu polimer itu, maka darjah ia terhidrat adalah berbeza (lebih

daripada 90% berat asal) di mana ia bergantung kepada jenis persekitaran akueus dan komposisi polimer. Dalam laporan oleh Giri *et al.* (2012), pengubahsuaian struktur termodulasi boleh dilakukan secara fizikal, termasuk penyerapan pengembangan hidrogel, kekuatan mekanikal, dan ciri-ciri permukaan. Secara umum, pencirian hidrogel dijalankan bagi mengenalpasti respon polimer ini terhadap pelarut yang berbeza, pH, kekuatan ionik dan suhu (Halib *et al.*, 2009).

Nanopartikel perak sudah lama digunakan dalam pemangkinan heterogen dan pelbagai aplikasi baharu seperti dalam industri tekstil, alat-alat bioperubatan filem polimer terbiodegradasi untuk pembungkusan makanan dan biologi pelabelan, plasmon fotonik dan warna dan optoelektronik (Sotiriou *et al.*, 2011). Beberapa kajian terdahulu yang berkaitan dengan nanopartikel logam terutamanya emas, perak, dan tembaga telah menunjukkan aktiviti anti-bakteria terhadap mikroorganisma. Antara nanopartikel logam yang telah dikaji, nanopartikel perak telah memaparkan aktiviti antimikrob yang paling baik (Murthy *et al.*, 2008). Logam perak telah digunakan sebagai

\* To whom correspondence should be addressed.

profilaktik atau agen terapeutik bagi memusnah koloni organisma yang menghalang penyembuhan, termasuk antibiotik-pencegah bakteria (Atiyeh *et al.*, 2007). Selain itu ia turut menjadi pilihan bagi aplikasi antibakteria yang digunakan dalam pembalut luka dan terapeutik. Malah, logam perak merupakan agen antibakteria terkenal yang sering digunakan secara klinikal (Atiyeh *et al.*, 2007).

Nanopartikel perak telah didapati sebagai bukan toksik dan bahan antibakteria yang mesra alam (Murthy *et al.*, 2008). Namun begitu nanopartikel jenis ini adalah lemah dalam melakukan pengikatan terhadap sebarang permukaan. Hal ini telah menjadi limitasi bagi nanopartikel perak untuk digunakan secara lebih meluas. Bagi mengatasi masalah ini, matrik polimer-nanopartikel telah dihasilkan, di mana salah satu kaedahnya adalah dengan menggabungkan nanopartikel ke dalam rangkaian hidrogel. Kajian telah mendapati kaedah ini merupakan pendekatan yang terbaik dibangunkan, terutama dalam aplikasi bahan antibakteria (Murthy *et al.*, 2008).

Oleh yang demikian, tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mengkaji keboleh upayaan hidrogel-nanopartikel perak berasaskan selulosa bakteria nata de coco (NDC) untuk bertindak sebagai templat anti-bakteria. Sampel yang dihasilkan dianalisis serta dicirikan menggunakan instrumentasi seperti spektroskopi inframerah fourier (FTIR), kalorimeter imbasan pembezaan (DSC), pembelauan sinar-x (XRD), mikroskopi imbasan elektron (SEM) dan ujian antibakteria turut dijalankan.

## METODOLOGI DAN KAEDAH

### Bahan kimia

Asid akrilik 99% (AA daripada Sigma Aldrich), selulosa bakteria yang disediakan daripada *nata de coco* yang telah ditulenkan dan dikisar halus, kalium persulfat (KPS), *N,N'*-metilena-(bisakrilamida) (MBA daripada Sigma Aldrich), argentum nitrat akues ( $\text{AgNO}_3$ ), natrium boronhidrida ( $\text{NaBH}_4$ ), larutan penimbal fosfat (PBS), pH 2-10 dan air suling diperoleh daripada pembekal tempatan.

### Analisis

Sampel yang dihasilkan akan dianalisis dan dicirikan menggunakan Sampel yang dihasilkan dianalisis serta dicirikan menggunakan instrumentasi seperti spektroskopi inframerah fourier (FTIR), kalorimeter imbasan pembezaan (DSC), pembelauan sinar-x (XRD) dan mikroskopi imbasan elektron (SEM). Manakala, pencirian hidrogel bersifat anti-bakteria ditentukan oleh analisis antibakteria dengan menggunakan agar nutrien dan dua jenis bakteria berlainan gram iaitu bakteria

gram positif - *Staphylococcus aureus* dan gram negatif - *Escherichia coli*.

### Penyediaan hidrogel

Bagi menghasilkan hidrogel, kaedah yang dilaporkan oleh Hakam *et al.* (2015) dan Liew *et al.* (2014) telah diguna pakai. Sebanyak 0.25 g kalium persulfat dilarutkan dalam 10 mL air suling dalam bikar. Larutan A merupakan campuran yang telah dipanaskan di dalam kelalang berleher tiga sehingga suhu mencecah  $70^\circ\text{C}$ . Dalam masa yang sama, campuran seperti isipadu larutan *nata de coco*, asid akrilik dan larutan *N,N'*-metilena-(bisakrilamida) dikacau berasingan menggunakan pengacau bermagnet tanpa sebarang haba sebagai larutan B. Seterusnya, larutan ini digabung dan dikacau sehingga likat sebelum dituang ke atas piring petri dan dikeringkan semalaman di dalam ketuhar pada suhu  $40^\circ\text{C}$ . Dalam kajian ini selulosa bakteria telah divariasikan kandungannya dengan monomer yang telah digunakan. Namun begitu, hanya sampel pada nisbah 2:1 dan 3:1 yang menunjukkan hasil yang paling signifikan dan telah dipilih untuk kajian selanjutnya.

### Ujian pembengkakan

Untuk mengukur nisbah pembengkakan (SR), hidrogel berbentuk cakera kering ditimbang dan direndam ke dalam 50 mL larutan penimbal fosfat (PBS) pada nilai pH (2-10) dan suhu ( $25$ - $50^\circ\text{C}$ ) yang berbeza. Sampel bengkak ditimbang pada setiap selang masa di mana lebihan penimbal ditapis menggunakan kertas penapis (Amin *et al.*, 2012). Nisbah pembengkakan (SR) hidrogel dikira seperti persamaan di bawah:

$$SR = \frac{W_o - W_d}{W_d} \times 100\%$$

di mana  $W_d$  ialah berat hidrogel kering dan  $W_o$  adalah berat hidrogel yang mengalami pembengkakan (Kang *et al.*, 2008).

### Penggabungan hidrogel-nanopartikel perak

Penyediaan hidrogel nanopartikel adalah dengan menggunakan kaedah rendaman. Pertama, hidrogel selulosa berukuran  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  direndam ke dalam air suling selama dua hari. Ini bertujuan menggalakkan pengembangan liang hidrogel berlaku. Kemudian, sampel hidrogel itu dipindahkan ke dalam bikar yang berisi 50 mL larutan akues argentum nitrat,  $\text{AgNO}_3$  (10 mM) dan dibiarkan selama 24 jam pada suhu bilik. Ini bertujuan untuk membolehkan ion argentum daripada larutan masuk ke dalam jaringan hidrogel melalui ruang antara jaringan taut silang (Murthy *et al.*, 2008). Seterusnya, sampel dikeringkan di atas kertas turas

sebelum dipindahkan ke dalam bikar yang mengandungi 50 mL larutan akues natrium boronhidrida, 0.1M NaBH<sub>4</sub> bagi menjalani proses penurunan. Berdasarkan pemerhatian selepas kemasukan nanopartikel perak, didapati hidrogel ini telah bertukar warna kepada warna biru gelap.

#### Ujian antibakteria terhadap hidrogel terisi nanopartikel perak

Ujian antibakteria dijalankan melalui tindak balas perencatan terhadap gram positif dan negatif. Ujikaji ini dijalankan dalam keadaan terkawal dan pensterilan setiap peralatan penting supaya tiada pencemaran berlaku. Suhu pengaktifan bakteria adalah sekitar 37°C untuk bakteria hidup di dalam inkubator. Medium penyebaran kultur adalah berdasarkan nutrien agar. Jenis bakteria yang digunakan adalah seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*.

### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

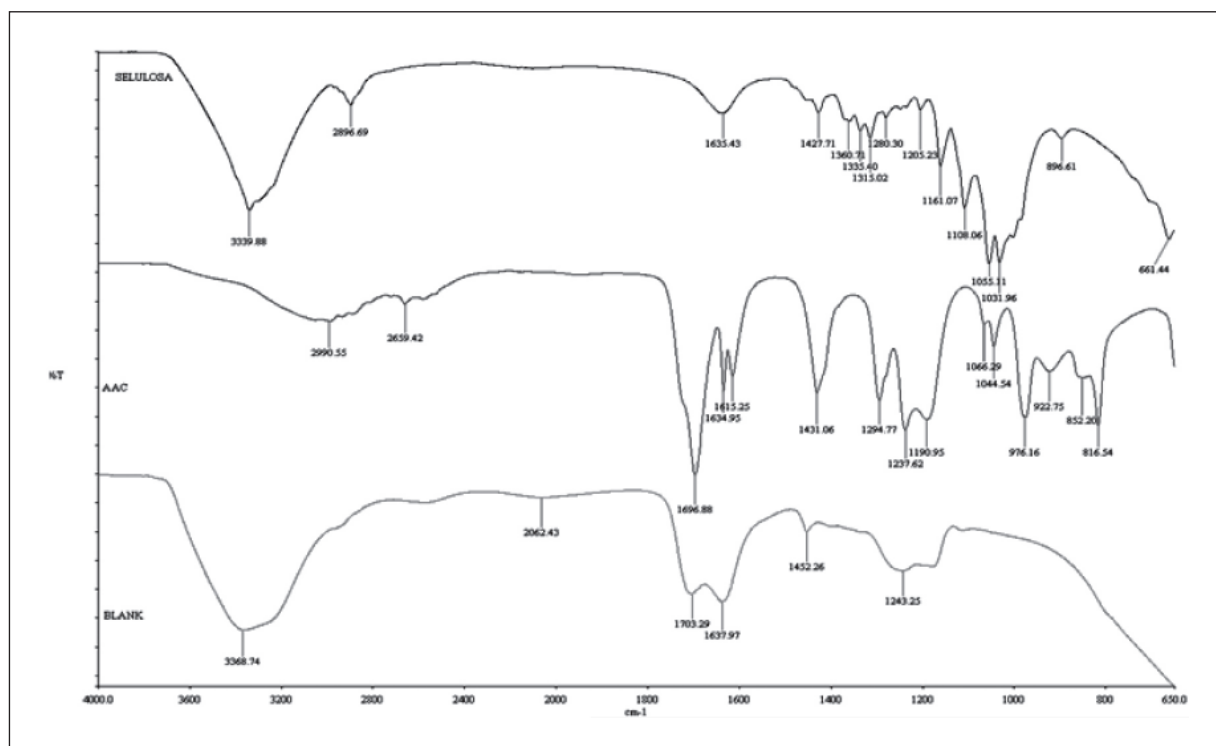
#### Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR)

Rajah 1 menunjukkan spektrum FTIR bagi hidrogel bakteria selulosa pada nisbah berlainan. Selulosa dan hidrogel kosong masing-masing menunjukkan puncak lebar pada 3339 cm<sup>-1</sup> dan 3368 cm<sup>-1</sup> disebabkan oleh ikatan hidrogen kumpulan -OH dalam selulosa. Kedua-duanya

mempunyai puncak yang hampir sama berikutan terdapat regangan tidak simetri -CH<sub>2</sub> dalam kumpulan -CHOH dalam selulosa (Zhou *et al.*, 2011). Pada puncak 2990 cm<sup>-1</sup>. Sampel asid akrilik (AA) menunjukkan puncak yang lebar disebabkan oleh regangan -OH pada asid akrilik pekat dan regangan ikatan alifatik sp<sup>3</sup> -CH<sub>3</sub> dan 2896 cm<sup>-1</sup> bagi selulosa (Lampman *et al.*, 2010). Puncak 1703 cm<sup>-1</sup> menunjukkan kehadiran C=O kumpulan berfungsi -COOH berikutan kesan pempolimeran hidrogel oleh radikal bebas. Walaubagaimanapun, puncak sekitar 1600 cm<sup>-1</sup> bagi selulosa, AA dan sampel kosong ini adalah regangan ikatan C-O kumpulan -CHOH (Amin *et al.*, 2012). Puncak sekitar 1450-1200 cm<sup>-1</sup> menunjukkan puncak yang lemah di mana ianya adalah lekuk -CH<sub>3</sub> bagi ketiga-tiga sampel ini (Zhou *et al.*, 2011).

#### Kesan pH terhadap nisbah pembengkakan hidrogel

Kesan pH terhadap hidrogel pada nisbah yang berbeza dilihat melalui peratusan pembengkakan tertinggi yang dialami oleh sampel hidrogel yang diuji. Kajian mendapati, hidrogel pada nisbah 3:1 mempunyai nilai peratusan pembengkakan yang terendah di dalam larutan penimbal pH 1 berdasarkan Jadual 1 di bawah. Menurut Chang *et al.* (2010), tindak balas pembengkakan hidrogel adalah bergantung kepada ikatan yang terdapat pada struktur hidrogel. Hidrogel yang bersifat asidik mempunyai kumpulan berfungsi -COOH di mana



Rajah 1. Perbandingan spektrum FTIR bagi selulosa, AA dan sampel kosong.

**Jadual 1.** Jadual peratusan pembengkakan tertinggi bagi kedua-dua hidrogel

pH	Nisbah Pembengkakan Tertinggi (%)	
	Hidrogel 2:1	Hidrogel 3:1
1	125.00	112.50
7	345.83	308.33
13	320.83	308.33

ia akan mengecut pada pH yang rendah dan membengkak pada pH yang tinggi disebabkan interaksi daripada kumpulan berfungsi tersebut terhadap proton yang terdapat dalam larutan akues. Berdasarkan laporan tersebut, kedua-dua hidrogel menunjukkan perlakuan pembengkakan yang hampir sama. Walaubagaimanapun, hidrogel pada nisbah 2:1 menunjukkan pembengkakan ketara pada pH 7 di mana, nilai peratusan pembengkakan yang paling tinggi. Apabila pH menghampiri julat 5-7, kepekatan ion hidrogen di dalam hidrogel adalah tinggi berbanding sekitarnya dan ini menyebabkan tekanan pembengkakan ionik meningkat disebabkan peningkatan interaksi penolakan  $-\text{COO}^-$  dan cas-cas negatif (Chang *et al.*, 2010).

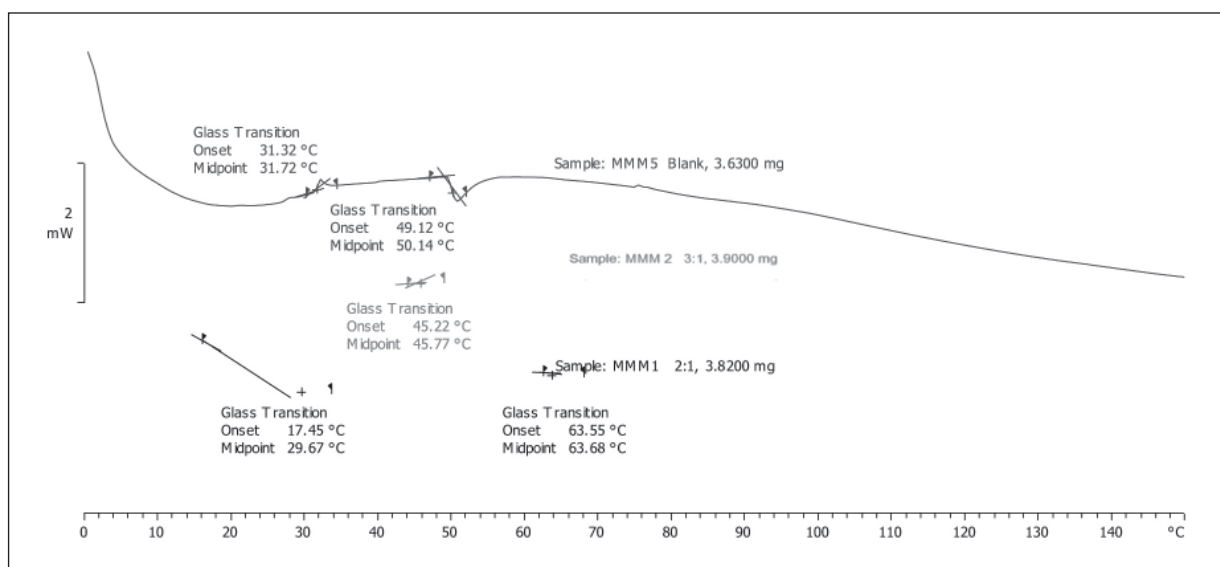
#### Kalorimetri Imbasan Pembeza (DSC)

Rajah 2 di bawah menunjukkan perbandingan termogram bagi ketiga-tiga hidrogel 2:1, 3:1 dan hidrogel kosong sebagai kawalan bagi memantau perubahan peralihan gelas ( $T_g$ ). Nilai ( $T_g$ ) bagi hidrogel kosong adalah  $50.14^\circ\text{C}$ . Nilai  $T_g$  masing-masing adalah  $63.68^\circ\text{C}$  dan  $5.77^\circ\text{C}$  bagi hidrogel 2:1 dan 3:1. Nilai  $T_g$  hidrogel 2:1 didapati lebih tinggi berbanding hidrogel kosong dan hidrogel 3:1. Ini menunjukkan hidrogel 2:1 mempunyai ketabihan terma yang lebih baik berbanding hidrogel 3:1

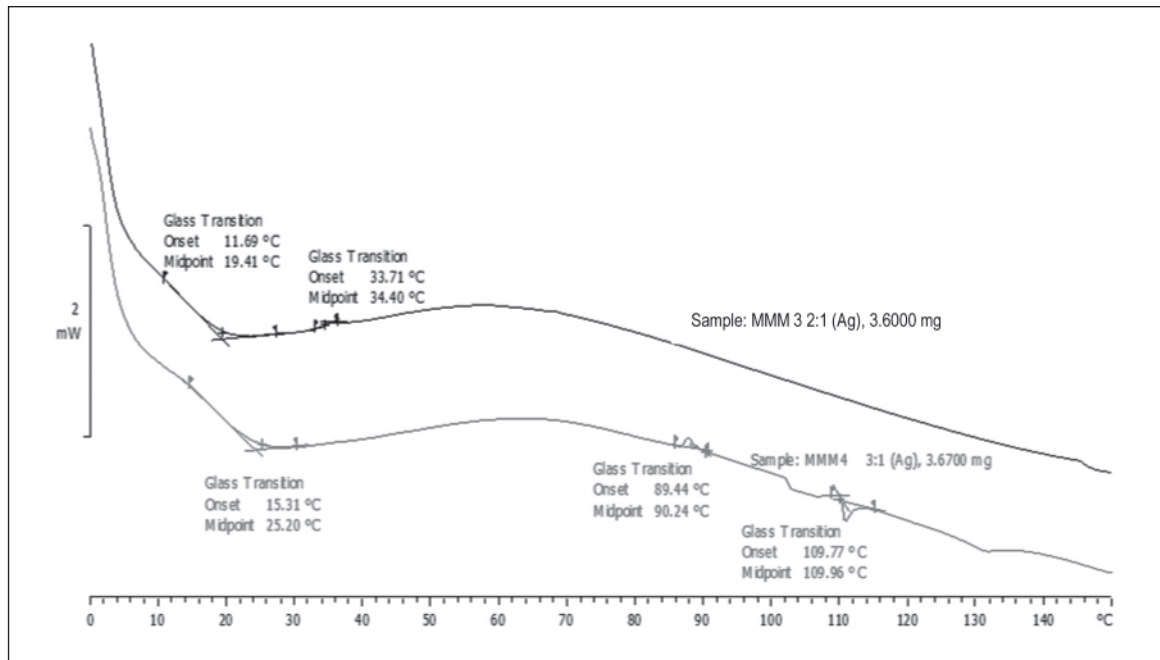
berikutan molekul yang mengikat air terhadap selulosa bertindak sebagai agen pemplastik dan mempengaruhi nilai  $T_g$  di mana semakin tinggi kandungan selulosa, semakin rendah nilai  $T_g$  (Amin *et al.*, 2012). Dalam hal ini, kapasiti haba meningkat dan molekul adalah mobil dan mempunyai tenaga yang tinggi. Sampel ini juga telah melalui satu transisi daripada tenaga rendah kepada tenaga tinggi (Lukas & LeMaire, 2009). Kelebaran bagi setiap nilai  $T_g$  merujuk kepada hidrogel ini terdiri daripada gabungan amorfus dan separa kristal yang dirujuk sebagai pecahan amorfus rigid (Amin *et al.*, 2012). Kesemua puncak-puncak ini memaparkan tenaga endoterma di mana tenaga diserap ke dalam sampel.

Analisis DSC juga digunakan dalam menentukan sifat bahan polimerik dan mengukur suhu serta aliran haba bagi transisi suatu bahan. Kebiasaannya, bahan amorfus akan melalui transisi gelas apabila kapasiti haba meningkat tanpa kehadiran laten haba. Bahan ini akan membentuk kristal dan membebaskan tenaga dan melalui fasa transisi pepejal oleh pembentukan semula kristal (*re-crystallizing*) kepada susunan yang berbeza diikuti pencairan dan seterusnya melalui fasa perubahan tambahan dalam cecair. Ianya lebih dikenali sebagai polimorfism (Lukas & LeMaire, 2009). Polimorfism adalah kebolehan bagi sesuatu bahan untuk wujud dalam dua atau lebih fasa kristal yang mempunyai susunan atau konformasi molekul yang berbeza dalam tenaga kekisi (*lattice energy*).

Rajah 3 menunjukkan perbandingan termogram hidrogel yang mengandungi nanopartikel perak (Ag). Nilai transisi gelas ( $T_g$ ) bagi hidrogel 2:1 (Ag) adalah  $34.40^\circ\text{C}$ . Manakala nilai  $T_g$  bagi hidrogel 3:1 (Ag) adalah  $109.96^\circ\text{C}$ . Nilai  $T_g$  hidrogel 3:1 (Ag) didapati lebih tinggi berbanding hidrogel 2:1 (Ag). Ini berikutan kemasukan nanopartikel perak ke



**Rajah 2.** Perbandingan termogram bagi ketiga-tiga hidrogel.

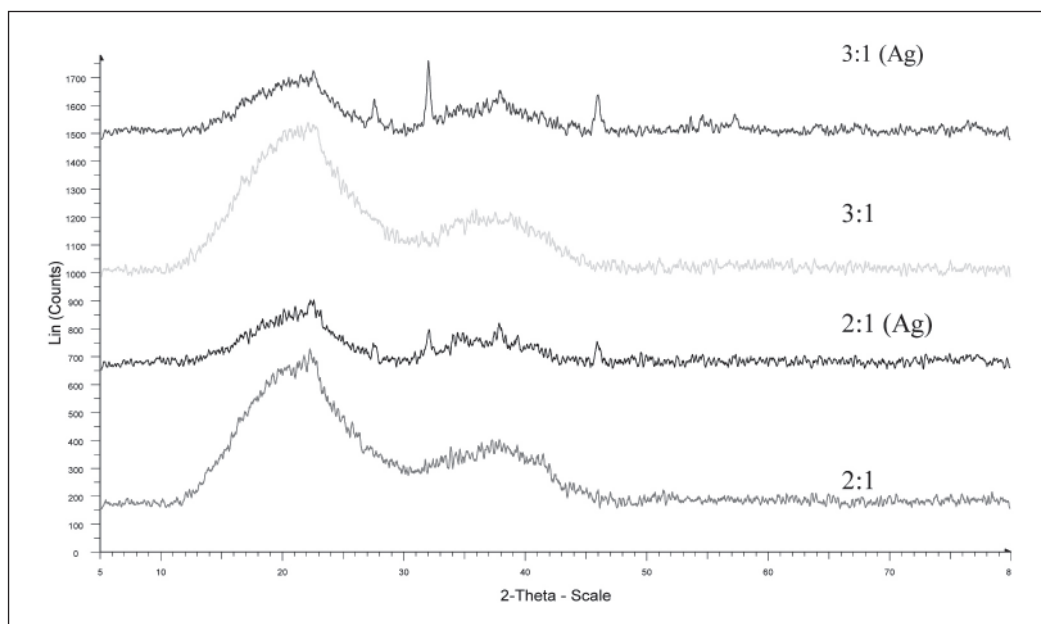


**Rajah 3.** Termogram hidrogel nanopartikel perak (Ag) pada nisbah 2:1 (Ag) dan 3:1 (Ag).

dalam jaringan hidrogel bakteria selulosa akan menyebabkan peningkatan nilai  $T_g$ . Struktur jaringan hidrogel pada nisbah 3:1 boleh dilihat menerusi analisis seterusnya. Menurut Chrissafis *et al.* (2013), kebanyakan nilai  $T_g$  meningkat seiring dengan penambahan nanopartikel. Interaksi antara rantai polimer dan nanopartikel menyebabkan zon persekitaran membentuk permukaan nanopartikel. Zon ini memaparkan kecenderungan penurunan rantai mobil makromolekul dan transisi gelas adalah tinggi berbanding matriks polimer.

#### Spektroskopi Pembelauan Sinar-X (XRD)

Kristalografi nanopartikel dalam sistem hidrogel bakteria selulosa ini telah dikenalpasti dengan menggunakan Spektroskopi Pembelauan Sinar-X (XRD). Berdasarkan Rajah 4, kristal puncak major jelas kelihatan pada sampel hidrogel 3:1 (Ag) dan hidrogel 2:1 (Ag). Puncak-puncak tajam tersebut jelas kelihatan pada  $2\theta = 28^\circ$ ,  $32^\circ$  dan  $46^\circ$  bagi kedua-dua hidrogel nanopartikel perak. Puncak kristal yang mempunyai intensiti yang tinggi disebabkan kristal nanopartikel terbentuk dalam



**Rajah 4.** Kristalografi perbandingan hidrogel bakteria selulosa dan hidrogel bakteria selulosa nanopartikel.



sistem hidrogel. Menurut Xiang dan Chen (2007), diperhatikan puncak pembelauan tajam yang wujud ini menunjukkan struktur kubik muka-pusat metalik perak (Ag) di mana nanopartikel perak yang terhasil dalam hidrogel nanokomposit adalah tinggi. Manakala, tiada puncak kristal yang terdapat pada hidrogel 2:1 dan 3:1 disebabkan sifatnya yang amorfus. Sifat struktur kristal-amorfus ini ditentukan oleh puncak tajam yang berkaitan pembelauan kristal dan kawasan amorfus. Semakin tinggi kawasan amorfus, semakin rendah pengkristalan.

#### Spektroskopi Imbasan Elektron (SEM)

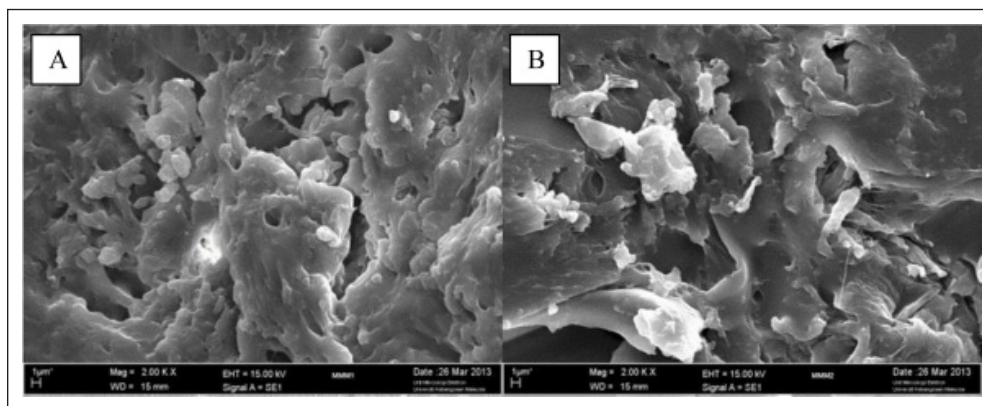
Sifat morfologi hidrogel dan ketelapan dilihat melalui spektroskopi imbasan elektron yang ditunjukkan seperti Rajah 5. Hidrogel pada nisbah 3:1 mempunyai struktur jaringan liang yang lebih

baik berbanding hidrogel 2:1 dan ini disokong menerusi laporan kajian Zhou *et al.* (2011), sistem hidrogel yang mempunyai liang atau poros yang lebih besar adalah lebih mudah membengkak dengan baik di dalam larutan tertentu.

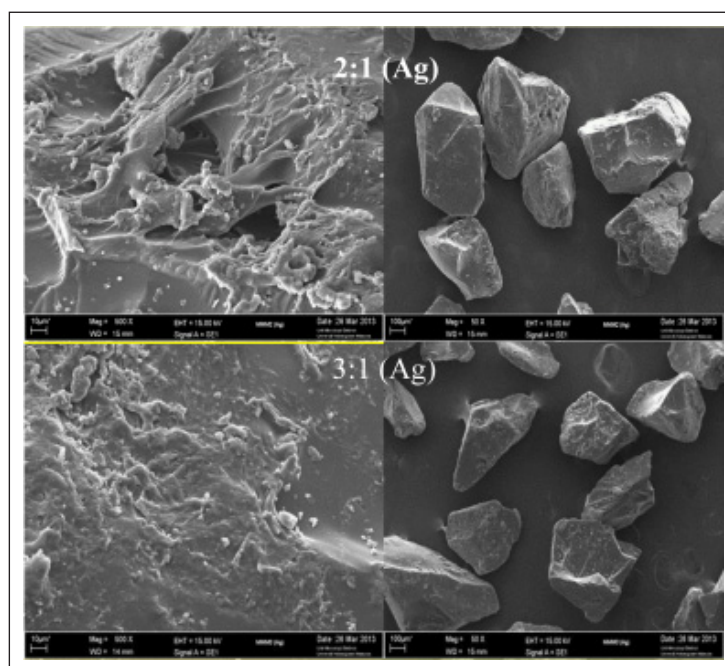
Hasil penggabungan dengan nanopartikel perak dilihat di bawah SEM di mana terdapat nanopartikel perak di dalam jaringan hidrogel tersebut. Ini dijelaskan melalui Rajah 6 seperti berikut.

#### Ujian antibakteria terhadap hidrogel terisi nanopartikel perak

Ujian antibakteria telah dijalankan terhadap bakteria gram positif dan negatif seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* diringkaskan dalam Jadual 2. Manakala, lohong jernih ini boleh dilihat melalui Rajah 7 di bawah.



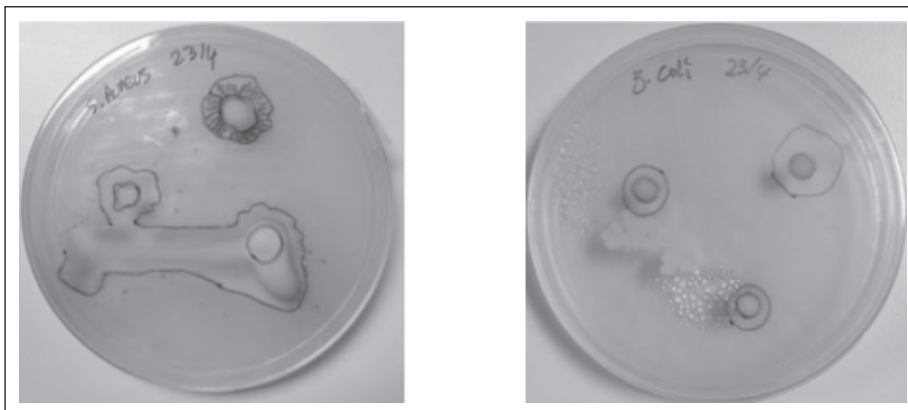
Rajah 5. Imej SEM bagi jaringan hidrogel pada nisbah a) 2:1 dan b) 3:1.



Rajah 6. Imej SEM bagi jaringan hidrogel pada nisbah 2:1 (Ag) dan 3:1 (Ag) yang telah terisi dengan nanopartikel perak.

**Jadual 2.** Hasil keputusan perencatan hidrogel terisi nanopartikel perak

Jenis bakteria	Penjelasan
<i>S. aureus</i>	Diameter lohong perencatan sedikit besar berbanding <i>E. coli</i>
<i>E. coli</i>	Diameter lohong perencatan sedikit kecil berbanding dengan <i>S. aureus</i> .

**Rajah 7.** Perencatan hidrogel terisi dengan nanopartikel ke atas bakteria. Kiri (*S. aureus*), kanan (*E. coli*).

Hasil kajian mendapati, hidrogel yang telah terisi dengan nanopartikel perak ini mampu merencat pertumbuhan bakteria di sekitarnya. Perbandingan melalui mata kasar boleh diperhatikan berdasarkan diameter lohong jernih yang terhasil 24 jam selepas pengaktifan bakteria tersebut di dalam inkubator pada suhu 37°C.

Mekanisma kesan antibakteria oleh zarah nanopartikel perak ini berkemungkinan mempunyai tindak balas yang sama dengan agen antimikrob lain yang digunakan untuk merawat jangkitan bakteria. Agen ini menunjukkan empat mekanisme yang berbeza tindakan iaitu gangguan sintesis dinding sel. Kajian yang telah dilaporkan oleh Guzman *et al.* (2012) menyamai dengan keputusan perencatan dalam kajian ini di mana perencatan ke atas bakteria *S. aureus* dan ianya adalah munasabah untuk menyimpulkan bahawa zarah yang terikat kepada bakteria bergantung kepada interaksi kawasan permukaan sekitarnya dan juga faktor saiz nanopartikel juga turut mempengaruhi perencatan (Guzman *et al.*, 2012).

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang dijalankan, hidrogel bakteria selulosa ko-akrilik asid telah berjaya disintesis dengan menggunakan kaedah pem-polimeran radikal bebas. Manakala, hidrogel

nanoartikel disintesis melalui pemasukan nano-partikel ke dalam sistem hidrogel melalui penurunan sodium boronhidrida. Hidrogel yang dihasilkan telah dilakukan pencirian ke atasnya dengan ujian pembengkakan, ujian antibakteria, Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR), Kalorimetri Pembezaan (DSC), Pembelauan Sinar-X (XRD) dan Mikroskopi Imbasan Elektron (SEM). Ujian pembengkakan yang dijalankan ke atas hidrogel bakteria selulosa 2:1 dan 3:1 mendapati, hidrogel 2:1 membengkak dan mempunyai peratusan pembengkakan yang tinggi di dalam kesemua larutan penimbal pH yang berbeza. Ini menunjukkan hidrogel 2:1 lebih responsif terhadap kesan pH ke atas pembengkakkan hidrogel. Kesan nisbah bakteria selulosa terhadap asid akrilik ke atas pembengkakkan hidrogel mendapati, hidrogel 3:1 lebih responsif berikutan pertambahan nisbah bakteria selulosa dalam hidrogel. Ujian antibakteria pula mendapati, hidrogel yang mengandungi nanopartikel perak mampu merencat pertumbuhan bakteria di sekitarnya dan menghalang pertumbuhan bakteria tersebut.

## PENGHARGAAN

Penulis berterima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan telah disokong oleh geran LIV-2015-05.

## RUJUKAN

- Amin, M.C.I.M., Ahmad, N., Halib, N. & Ahmad, I. 2012. Synthesis and characterization of Thermo and pH-responsive bacterial cellulose/acrylic acid hydrogels for drug delivery. *Carbohydrate Polymer*, **88**: 465-473.
- Atiyeh, B.S., Costagliola, M., Hayek, N.S. & Dibo, A.S. 2007. Effect of silver on burn wound infection control and healing: *Review of the literature*. *Burns*, **33**: 139-148.
- Chang, C., Zhang, L., Zhou, J., Zhang, L. & Kennedy, K.J. 2010. Structure and properties of hydrogels prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, **82**: 122-127.
- Chrissas, K., Eleni, P., Dimitra, G. & Dimitrios, B. 2013. Effect of Cu-nanobers and Ag-nanoparticles on syndiotactic polystyrene thermal stability and on its decomposition mechanism. *Thermochimica Acta*, **561**: 26-35.
- Giri, T.K., Thakur, A., Alexander, A., Ajazuddin Badwaik, H. & Tripathi, D.K. 2012. Modied chitosan hydrogels as drug delivery and tissue engineering systems: present status and applications. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, **2**(5): 439-449.
- Guzman, M., Jean. D. & Stéphane, G. 2012. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, **8**: 37-45.
- Hakam, A., Rahman, I.A., Jamil, M.S.M., Othaman, R., Amin, M.C.I.M. & Lazim, A.M. 2015. Removal of Methylene Blue Dye in Aqueous Solution by Sorption on a Bacterial-g-Poly-(Acrylic Acid) Polymer Network Hydrogel. *Sains Malaysiana*, **44**(6): 827-834.
- Halib, N., Amin, M.C.I.M., Ahmad, I., Hashim, Z.M. & Noriah, J. 2009. Swelling of bacterial cellulose-acrylic acid hydrogels: sensitivity towards external stimuli. *Applied Science*, **38**(5): 785-791.
- Hamidi, M., Azadi, A. & Raei, P. 2008. Hydrogel nanoparticles in drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **60**: 1638-1649.
- Kang, B., Dai, D.Y., Shen, H.X. & Chen, D. 2008. Dynamical modeling and experimental evidence on the swelling/deswelling behaviors of pH sensitive hydrogels. *Materials Letters*, **62**: 3444-3446.
- Lampman, M.G., Pavia, D., Kriz, G.S. & Vyvyan, R.J. 2010. *Spectroscopy*. 4th Ed. Brooks/Cole Cengage Learning, Canada.
- Lee, S.C., Kwon, K. & Park, K. 2012. *Hydrogels for delivery of bioactive agents: A historical perspective*.
- Liew, M., Othaman, R., Khalid, R., Amin, M.C.I.M. & Lazim, A.M. 2014. Sintesis hidrogel berasaskan Nata de Coco dengan asid akrilik sebagai ko-monomer menggunakan kaedah pempolimeran radikal bebas. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, **18**(2): 299-305.
- Lukas, K. & LeMaire, K.P. 2009. *Differential Scanning Calorimetry: Fundamental Overview*. Department of Physics. Connecticut.
- Murthy, P.S.K., Mohan, M.Y., Varaprasad, K., Sreedhar, B. & Raju, M.K. 2008. First successful design of semi-IPN hydrogel-silver nanocomposites: A facile approach for antibacterial application. *Journal of Colloid and Interface Science*, **318**: 217-224.
- Sotiriou, G.A., Teleki, A., Camenzind, A., Andreas, K.M. & Sotiris, E.P. 2011. Nanosilver on nanostructured silica: Antibacterial activity and Ag surface area. *Chemical Engineering Journal*, **170**: 547-554.
- Xiang, Y. & Chen, D. 2007. Preparation of a novel pH-responsive silver nanoparticle/poly (HEMA-PEGMA-MAA) composite hydrogel. *Polymer European Journal*, **43**: 4178-4187.
- Zhou, Y., Fu, S., Liu, H., Yang, S. & Zhan, H. 2011. Removal of methylene blue dyes from waste water using cellulose based super adsorbent hydrogels. *Polymer Engineering And Science*, **51**(12): 2417-2424.